

氏名	吉水健剛		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	甲博理工第459号		
学位授与年月日	平成25年9月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
学位論文題目	ACコロナ放電型イオナイザの最適周波数決定法に関する研究		
審査会	主査	池畑隆	委員 佐藤直幸
	委員	三枝幹雄	委員 柳平丈志
	委員	岡野一雄	

## 論文内容の要旨

電子デバイス実装工程において、静電気に基づくデバイスの破壊や誤動作等の静電気障害が発生し、製造歩留の低下が問題になっている。この静電気障害への対策として、ACコロナ放電型イオナイザが広く使用されている。コロナ放電型イオナイザとは、エミッタと呼ばれる針状の電極に高電圧を印加し、エミッタ先端付近の雰囲気中に荷電粒子を生成する装置である。この荷電粒子を被除電物へ輸送し吸収させ、被除電物を電氣的に中和することで除電が可能となる。一般にイオナイザの性能は動作条件に大きく依存する。したがって、イオナイザの性能を最大限に引き出すためには、動作条件を最適化することが重要となる。動作条件が不適当な場合、製品は完全に除電されないだけでなく、帯電することさえある。現在、イオナイザの最適動作条件の決定方法はまだ確立されていない。ここで、イオナイザの動作条件としては、①エミッタへの印加電圧、②動作周波数、③エミッタから被除電物までの距離等がある。一方、イオナイザの性能には、①除電能力、すなわちイオナイザが被除電物を除電する能力、②電圧振幅、すなわちイオナイザの動作に基づく被除電物の電圧の振幅等がある。本研究では、電子デバイスの実装工程において、搬送中の製品の除電を扱う。イオナイザの動作条件としては動作周波数を選び、性能としては除電能力と電圧振幅を選び、動作周波数がイオナイザの性能に及ぼす効果を検討した。また、この検討結果からイオナイザの最適周波数の決定方法を確立した。

イオナイザの性能と周波数との関係を検討するために、送風用ファンとイオナイザから成る実験装置を製作し、このイオナイザの除電能力をチャージプレートモニタで測定した。この結果、周波数が低くなるに従って除電能力が高くなることがわかった。また、周波数が低くなるに従って電圧振幅が大きくなることがわかった。そこでイオナイザの実用上の最適周波数の決定を考慮して、除電能力と電圧振幅についてさらに詳しく検討をすることにした。

イオナイザの実用的な除電能力と周波数との関係を検討した。搬送中の被除電物を除電する場合、被除電物はイオナイザの周辺に分布した荷電粒子によって除電される。そこで、全ての除電領域における除電電流密度の分布を測定し、除電領域全体の除電電流、すなわち全除電電流を除電能力として検討を進めた。この結果、周波数が低くなるに従って実用上の除電能力が高くなることが明らかになった。

電圧振幅についても実用的な検討を行った。電圧振幅には変位電流に基づく電圧振幅と伝導電流に基づく電圧振幅とがある。このうち伝導電流に基づく電圧振幅は、被除電物を帯電させる原因となる。したがって実用上は、この伝導電流に基づく電圧振幅の周波数依

存性を検討すればよいことになる。しかしながら、チャージプレートモニタでは、この二種類の電流を分離して測定することができない。そこで、高感度の簡易帯電センサを提案し、設計、製作、評価を行った。その結果、このセンサは変位電流と伝導電流とを分離して測定可能であることが明らかになった。ここで、この簡易帯電センサで帯電特性を測定できることが明らかになった。

本研究における最適周波数を「除電能力が最も高く、荷電粒子が被除電物を帯電させない周波数」と定義した。除電能力と電圧振幅の実用的な検討結果から、最適周波数の決定方法を検討した。除電能力を高めるためには動作周波数  $f$  は低くする必要がある。一方、被除電物を帯電させないためには、イオナイザが生成した荷電粒子が被除電物に到達する前に、エミッタへの印加電圧の極性を反転させる必要がある。このためには、エミッタへの印加電圧の周期を  $T$ 、荷電粒子がエミッタから被除電物に到達するまでの時間を  $tt$  とすると、 $T/2 < tt$  を満足することが帯電させない条件となる。したがって、被除電物を帯電させずに、除電能力を最大にするための最適周波数  $f_0$  は、 $f_0 = 1/2tt$  となることが明らかになった。

以上のように、本研究ではイオナイザの性能に及ぼす動作周波数の効果について検討し、最適周波数の決定方法を確立した。本研究の成果は以下のようにまとめられる。

- (1) 周波数が低くなるに従って、除電能力は高くなり、電圧振幅は大きくなる。
- (2) 荷電粒子による帯電を測定するための簡易帯電センサを開発した。
- (3) 簡易帯電センサを使用して、被除電物を帯電させない周波数範囲を明らかにし、この範囲内の最低周波数が最適周波数となる

## 論文審査の結果の要旨

### [論文の要旨]

電子デバイス実装工程では、静電気による破壊や誤動作等の障害が発生し易く、製造歩留の低下などを引き起こす。その対策として、AC コロナ放電型イオナイザによる静電気除電が広く利用されている。しかしイオナイザの運用は経験に依存する点が大きく、システムの柔軟性、拡張性に欠ける問題があった。

本論文は、AC コロナ放電型イオナイザの最適動作周波数の決定法を研究し、その成果を6章にまとめたものである。1章は序論である。2章では、まず実験方法と装置について記述し、次に除電電流密度と電圧振幅の周波数依存性について記述している。除電電流が大きく、電圧振幅の小さなイオナイザが理想であるが、周波数を増加すると電圧振幅は小さくなるものの同時に除電電流密度も減少し、除電電流密度と電圧振幅がトレードオフの関係にあることがわかった。電子デバイスの製造工程では、ベルトコンベアで搬送される製品をその場で除電する。実用上、イオナイザ直下だけでなくコンベア上の一定範囲を同時に除電する必要がある。3章では、こうした観点から、除電電流密度の面分布と周波数の関係を調査している。その結果、周波数とともに除電範囲が狭まることがわかった。4章は、簡易帯電センサの設計と性能評価についての記述である。従来のチャージプレートモニタ(CPM)は浮遊容量が大きいいため、イオナイザの電位変動に伴う変位電流を検出してしまいう問題があった。そこで低容量で変位電流と伝導電流を区別して測定できるセンサを開発する必要があった。簡易センサは概ね期待通りの性能を示した。5章では、最適周波数の決定法をまとめている。まず、被除電物を帯電させない範囲で除電電流密度が最大の条件を最適条件と定義した。その結果、①4章で開発した簡易センサで被除電物の帯電が発生しない周波数範囲を求め、②その範囲の中の最低周波数が最適周波数であるとした。6章は本論文のまとめである。

### [論文の特色]

従来、絶縁物の静電気除電は経験に頼る面が多く、個々の製造現場に適した除電システムを迅速に設計・運用する上で大きな課題となっていた。本研究では、正負イオンの生成特性、輸送特性、除電特性など、イオナイザの基礎特性を丹念に調査し、これらのデータからイオナイザの最適動作周波数を決定する方法を示した。本研究の成果は、学術的価値が高い上に、電子産業における静電気制御技術への貢献も大きい。

### [判定]

審査会では、必要単位がすべて修得されていること、予備審査で指摘された点が解決されていることを確認した。本論文の内容は学術誌論文1編に発表されており、学術的価値に加えて産業界への貢献も大きい。以上を総合して、本論文は博士(工学)の学位論文として十分であり、合格と判定する